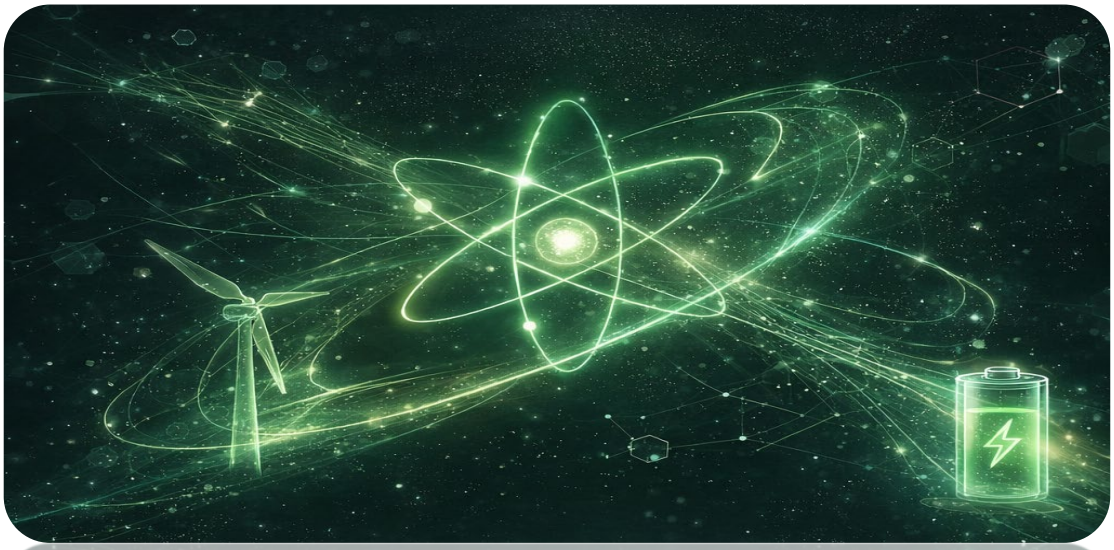
東北大学金属材料研究所先端エネルギー材料理工共創研究センター
E-IMR
NEWS LETTER
CO2 NEUTRAL

2026 Spring
Vol. 12,No.1

目次

はじめに
組織とメンバー：2025年度 2
先端エネルギー材料研究紹介
・物質・材料の固液界面現象の総合理解と高品質半導体バルク結晶の実現へ向けて 3
・金属—有機物構造体（metal-organic framework; MOF）で物性を制御する 4
・スピントランスファートルクによる磁化の動的安定化 5
イベント
2025年度E-IMRワークショップ 6
お知らせ
若手研究者のための革新的エネルギー材料・複合モジュール創製研究助成 6



はじめに

先端エネルギー材料理工共創研究センター（E-IMR）は，発足から10年を経て，新たな体制のもと次の段階へと歩みを進めています．

令和7年度は，国際連携と分野横断融合をさらに深化させる重要な一年となりました．University College London（UCL）の紅林秀和教授が兼任教授として参画され，あわせて東北大学先端スピントロニクス研究開発センター（CSIS）よりTroy Dion助教が兼任教員として加わりました．スピントロニクスを基盤とする先端物性科学との融合は，本センターの理工共創を一層加速させるものと期待されます．

また，大阪公立大学に設置している東北大学金属材料研究所サテライトオフィスにおいても体制強化が決定し，林晃敏教授を中心とする関西圏との研究ネットワークがさらに拡充されます．　これにより，全固体電池をはじめとする次世代蓄電材料研究の推進体制が一段と強化されます．

E-IMRは，基礎学理の深化と社会実装を両輪とし，国内外の研究拠点との連携を通じて，カーボンニュートラル社会の実現に向けた革新的エネルギー材料創成を推進してまいります．

E-IMRセンター長　市坪 哲

体制図（2025）

理学系研究部門出身　　工学系研究部門出身

センター長

センター長/教授
市坪 哲
蓄電池創製
相変態構造制御
統計熱力学組織形成論

運営委員会

研究支援室

特任教授
佐藤敬浩
研究企画・運営担当

研究戦略室

エネルギー変換材料研究ユニット

教授
藤原 航三
結晶成長
Si多結晶太陽電池

教授(兼)
関　剛斎
磁性薄膜・ナノ構造
スピントロニクス

教授(委嘱)
塚崎 敦
超伝導薄膜
界面物性
トポロジカル物性・物質（東京大学）

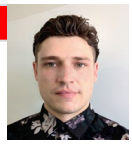
教授(兼)
Bauer,Gerrit Ernst-Wilhelm
物性理論物理
スピントロニクス
(材料科学高等研究所)

教授(兼)
紅林 秀和
スピン物性
二次元材料
ニューロモルフィックコンピューティング
(CSIS)

准教授(兼)
岡本 範彦
透過電子顕微鏡
熱電材料

准教授(兼)
野澤 純
コロイド
結晶成長

助教(兼)
Troy Dion
スピントロニクス
スピン波
マイクロマグ計算
(CSIS)



蓄エネルギー変換材料研究ユニット

教授(兼)
宮坂 等
酸化還元活性錯体格子
多機能型ソフトマテリアル
機能協奏型二次電池

教授(兼)
折茂 慎一
高密度水素貯蔵材料
超イオン伝導材料
多価蓄電デバイス
(材料科学高等研究所)

教授(兼)
高村 仁
固体酸化物形燃料電池
プロトン伝導性セラミックス
水素製造システム
(工学研究科)

准教授(兼)
佐藤　豊人
水素貯蔵材料
水素関連材料

助教(兼)
李 弘毅
デュアルカチオン電池
金属・合金負極材料開発

材料評価・解析研究ユニット

教授(兼)
藤田 全基
量子ビーム
教相関電子系
結晶成長

教授(兼)
熊谷 悠
計算材料学
マテリアルズインフォマティクス
セラミックス

教授(兼)
高橋 幸生
放射光
コヒーレント回析イメージング
微細構造・化学状態解析
(国際放射光イノベーション・スマートセンター)

准教授
Belosludov, Rodion V.
機能性ナノポーラス材料
ガス貯蔵・分離

複合モジュール・社会実装研究ユニット

教授(兼)
加藤 秀実
ナノポーラス金属・半金属
金属ガラス・アモルファス合金

教授/ｾﾝﾀｰ長
市坪 哲
蓄電池創製
相変態構造制御
統計熱力学組織形成論

特任助教
宋 瑞瑞
脱成分(デアロイング)
多孔質金属/合金
触媒

物質・材料の固液界面現象の総合理解と高品質半導体バルク結晶の実現へ向けて

藤原航三教授
エネルギー変換材料研究ユニット長
結晶物理学研究部門

当グループでは，無機物質・材料の融液成長メカニズムの総合理解を目指した基礎研究と，Siや化合物半導体の新規バルク結晶成長技術開発を目指した応用研究を推進しております．

実用的に利用されている半導体や金属合金のバルク結晶は，ほとんどの場合は液相を凝固させて製造されております．半導体材料と金属材料では，求められる機能が大きく異なっているため，結晶中の最適な微細組織構造も大きく異なります．多くの半導体機器の基板材料には，半導体単結晶材料が用いられていますが，太陽電池では半導体多結晶材料が用いられることもあります．一方，輸送機器や鉄筋などで使用される構造用金属材料のほとんどは多結晶材料です．

図1に多結晶と単結晶の固液界面の模式図を示しております．単結晶中には，結晶粒界はありませんが，その他の結晶欠陥（空孔，不純物，転位など）は存在しております．また，単結晶の成長過程で双晶粒界などの結晶粒界が発生することもあります．工業的な半導体バルク単結晶の製造においては，結晶成長過程における双晶界面の形成が特に問題となっております．固液界面における結晶欠陥の挙動や形成メカニズムについては基礎的に不明な点が多く残されています．また，融液成長においては，結晶成長速度や固液界面エネルギーの異方性といった結晶成長の基礎的現象や物性についても学理の構築が遅れております．

当グループでは，独自に開発してきた“その場”観察装置を用いて，様々な物質の固液界面現象の解明に取り組んできました．図2は，Siの研究例です．様々な現象を動的に捉えることで，各現象の物理モデルの構築に有用な実験データが蓄積されております．国内外の実験・理論グループとも協同して研究を行っております．また，国内企業との共同研究により，半導体バルク結晶の高品質化へ向けた基礎研究も行っております．金属材料と半導体材料の固液界面現象の違いを明確にすることにも取り組んでおります．

このような融液成長の基礎研究をベースとして，実用的に有用な高品質バルク結晶の成長技術開発に繋げていきます．

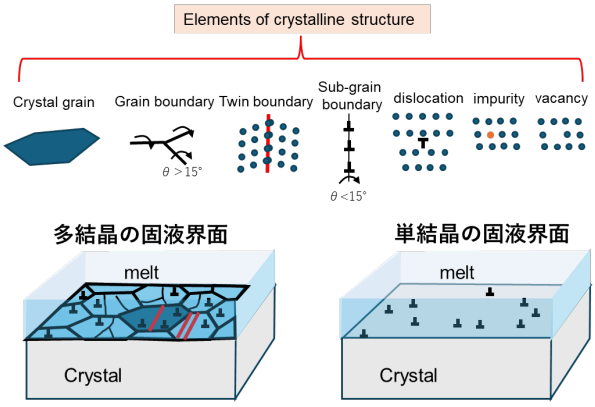


図1 多結晶および単結晶の固液界面の模式図．

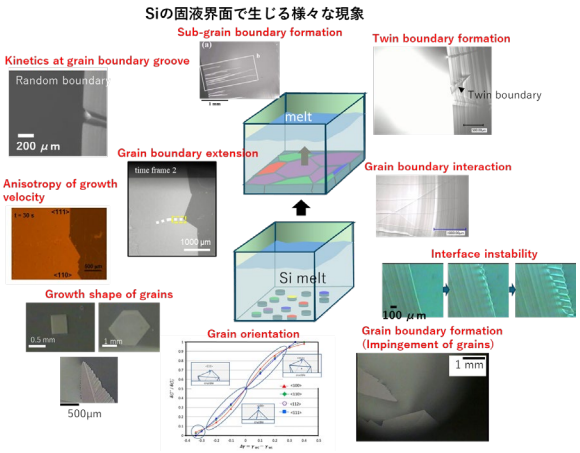


図2 その場観察法を用いたSiの固液界面現象の研究例．

<参考> 藤原航三教授の研究詳細はホームページをご覧ください．
https://www.xtalphys.imr.tohoku.ac.jp/

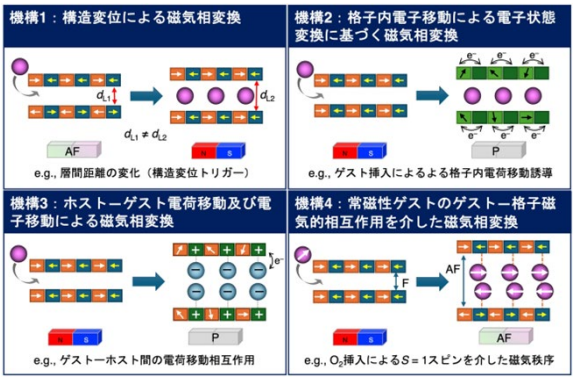
金属―有機物構造体（metal-organic framework; MOF）で物性を制御する

宮坂等教授
蓄エネルギー変換材料研究ユニット長
錯体物性化学研究部門

2025年のノーベル化学賞は、金属―有機構造体（metal-organic frameworks; MOFs）の化学を切り拓いた北川進教授（京都大学）、Richard Robson教授（メルボルン大学）、Omar M. Yaghi教授（カリフォルニア大学バークレー校）の3氏に授与されました。MOFは、金属イオンと架橋配位子から構築される多次元無限格子から成る結晶性多孔体であり、分子格子によって規定された「空間（細孔）」を本質的特徴とします。格子と空間は不可分の概念であり、ボトムアップ型の格子設計によって細孔空間を精密に制御できる点に、MOF化学の核心があります。その結果、細孔内へのゲスト分子の選択的吸着・貯蔵・分離・変換が可能となり、「空間の化学」という新たな概念が確立されました。これこそが、本ノーベル賞の受賞理由の本質です。従来、固体化学および物性化学は、電子状態を基盤とする「格子の合理的設計」に主眼を置いて発展してきました。1960年代以降の分子性磁性体や電荷移動錯体の研究は、その代表例です。しかし、MOFの登場は視点を転換しました。格子設計は同時に空間設計でもあるという認識が、「空間の制御による格子物性制御」という逆方向の設計思想を可能にしたのです。すなわち、後反応的なゲスト挿入を通じて、ホスト-ゲスト相互作用や構造変調を誘起し、格子内の電子状態やスピン状態、磁気的相互作用を制御することができます。その結果、電気伝導性、磁気秩序、発光特性などの物性を動的に変換することが可能となります。このように、化学的入力（吸着・分子認識）を物理的出力（電気・磁気・光学応答）へと変換する材料は、新規エネルギー創出技術、環境応答型スマートセンサー、生体模倣型人工分子機械などへの応用が強く期待されています。

ここで、「ガス吸着によって磁石の性質が変化する」現象について述べます。一見すると、磁石の状態が容易に変化することは不安定に思われるかもしれません。しかし、電磁石が通電の有無によって磁性を可逆的に制御できるように、外部刺激に応答して磁気状態を切り替えられる材料は、むしろ高度な機能材料として重要です。もし、ゲスト分子の種類や吸着量、さらには出し入れによって磁気相を制御できれば、それは分子レベルの磁気スイッチとなります。我々の研究室では、ゲスト分子に応答して磁気挙動が変化する二次元層状MOF磁性体を開発し、これまでに4種類の磁気変換機構を明らかにしてきました。第一は、構造変化に起因する磁気相転移機構です。低次元磁性体では、磁気基底状態が層間相互作用に強く依存します。ゲスト吸着によって層間距離や積層様式を変調することで、磁気相の切り替えが可能となります。第二は、ゲストの出入りによって格子内電荷移動を誘起し、磁気相を変化させる機構です。格子内電荷移動はスピン状態や交換相互作用を変化させるため、結果として磁気秩序が再構築されます。第三は、ホスト-ゲスト間電荷移動を伴う機構です。挿入されたゲスト分子との間で電子移動が生じることで格子の電子状態が変化し、それに伴い磁性が変調されます。現在のところ、この機構はヨウ素分子をゲストとする系で見出されています。第四は、常磁性分子（例：酸素分子）が吸着した場合に、そのゲストスピンを媒介として層間に磁気的相互作用が導入され、三次元的磁気秩序が形成される機構です。これは分子スピンを介した間接的磁気結合という点で、極めて特徴的な現象です。特筆すべきは、第三の機構を除く三機構が、二酸化炭素、窒素、酸素といった一般的な大気成分ガスの吸着によって実現されている点です。すなわち、特異な分子種ではなく、ユビキタスなガスを用いて磁性を制御できることは、実用化への大きな優位性を示します。

空間と格子を協奏的に制御する分子設計は、今後の物質科学における重要な戦略軸となります。近未来材料の創製を視野に入れ、我々は今後も、物質輸送と格子機能が結合した新しい分子性多孔性磁性体の開発を推進していきます。



〈参考〉 宮坂教授の研究詳細はホームページをご覧ください。
https://www.miyasaka-lab.imr.tohoku.ac.jp/

先端エネルギー材料研究紹介3

スピントランスファートルクによる磁化の動的安定化

紅林秀和教授
エネルギー変換材料研究ユニット
先端スピントロニクス研究開発センター

磁石に熱や電磁場などの外部エネルギーを与えると、内在する磁化の運動が励起され、マグノンと呼ばれる準粒子が生成される。マグノンの励起状態の緩和特性は、磁石材料の電子構造や格子欠陥などの要因で決定される。緩和時間が長い高品質なイットリウム鉄ガーネット（YIG）は、1マイクロ秒以上マグノン励起状態を保持でき、マグノンを情報担体とする革新的情報デバイスを目指すマグノニクス分野で重宝される。スピントロニクス分野においても、磁化（またはマグノン）の緩和時間は、情報書き込みを担う磁化反転のエネルギー効率を決定づけるため、極めて重要である。

今回紹介する研究では、この磁化緩和時間を電気的に高効率で制御できる磁性多層膜材料を発見した[1]。電流により磁気緩和を制御するスピントランスファートルク（STT）効果を本材料で利用すると、磁気緩和時間を無限長にすることも可能となり、磁化エネルギーを活用した新概念の探求に資する先端エネルギー材料としての可能性が開けた。

我々が着目したのは、磁化を特定の方向に安定させる磁気異方性を排除することであった。この発想は、磁気異方性を高めて熱擾乱から磁化状態を維持することを本流としてきた従来の磁性研究とは逆行する。しかし、磁気異方性のない「どの方向にも磁化が向きやすい」材料の研究はほとんどなく、そこに面白さと可能性を見出し、共同研究者の関先生とともに研究を進めた。

具体的には、MgO/CoFeB/W多層膜を熱処理条件の精密制御により、薄膜形状に起因する形状磁気異方性とMgO/CoFeB界面で誘起される垂直磁気異方性を相殺させ、「等方的」磁性薄膜を実現した（図1a）。この材料では等方性によりSTT効果が最大化され、電流印加前の磁化緩和時間（例：本材料中の4GHzマイクロ波励起モードは約4.7ナノ秒）を、わずか6mAの電流で無限長まで延長できることが図1bの磁気共鳴線幅ゼロの状態で実証できる。

この高効率磁化緩和制御により、平衡状態ではエネルギー的に不安定な方位に磁化を安定化させることに成功した[1]。磁気異方性のない磁石に外部磁場を印加すると、磁場と磁化の相対角に対して図1cのようなエネルギーポテンシャルが生じ、磁化は磁場方向を向くことでエネルギー極小値を得る。そこにSTT効果を電流で印加し、エネルギー極小状態を散逸制御により不安定化させた。すると、エネルギー極大値が安定化されることを磁気共鳴測定により同定し[1]、磁化の「動的安定化」発見へと繋がった。この現象は力学系のカピッツァ振り子と類比できるが（図1d）、ナノスケールで電気的に散逸を制御する点で独自性がある。

本材料は連続変数を高効率で生成可能な系でもあり、制限ボルツマンマシンによる画像生成を数値計算により実証した[1]。これにより、確率コンピューティングを担うハードウェアとしても注目されている。

最後に、本研究は、久しぶりに自ら成膜・測定・データ解析を行い、共同研究者と数多く議論を重ねた末に、約三年弱で論文としてまとめ上げた成果である。道中はポスドク時代に戻ったような気分になり、とても楽しい時間を過ごさせていただいた。今後は、その役目を若手研究者に委ねていきたい！

参考文献

[1] Kurebayashi et al., *Nat. Mater.* AOP (2026).

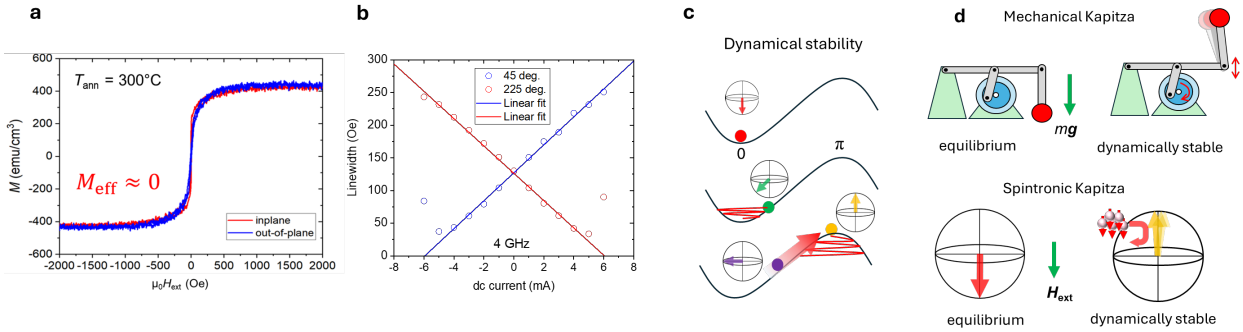


図1: a, 等方性磁石薄膜の面内・面直磁化曲線。b, 磁気共鳴線幅の電流値依存性。c, 磁化の同定安定化の模式図。
d, 力学カピッツァとスピン版カピッツァ振り子の模式図。詳細説明は文献[1]を参照。

〈参考〉 紅林秀和教授の研究詳細はホームページをご覧ください。
https://www.ucl.ac.uk/spintronics

イベント

E-IMR 2025年度ワークショップ

開催日：2025 年 12 月 4 日（木）13:00 ー 17:00
開催場所：東北大学金属材料研究所 講堂，オンラインとのハイブリッド開催

2025 年 12 月 4 日（木）に金属材料研究所講堂においてワークショップを開催しました．Zoom Webinar によるオンライン配信と東北大学関係者の会場参加によるハイブリッド方式で行いました．**熊谷果奈子氏文部科学省 研究振興局大学研究基盤整備課 課長補佐，林晃敏氏大阪公立大学 大学院工学研究科 教授・全固体電池研究所 所長東北大学金属材料研究所教授（兼務）**をお招きしてご講演をいただきました．また，E-IMRの，**李弘毅助教，佐藤豊人准教授，宮坂等教授，高村村仁教授 藤原航三教授，加藤秀実教授，関剛斎教授**各先生方それぞれの最新の研究発表をいただき，活発な質疑応答を通じて 2050 年のカーボ ンニュートラル，脱炭素社会の実現に向けた今後のエ ネルギー材料研究の方向性や，所内間・学内間・ 大学間， 産業界，自治体等との連携に関する論を深めることができました．

市坪哲 教授

熊谷果奈子氏

林晃敏教授

李弘毅助教

佐藤豊人 准教授

宮坂等 教授

高村仁 教授

藤原航三 教授

加藤秀実 教授

関剛斎 教授

お知らせ

令和8（2026)年度
「若手研究者のための革新的エネルギー材料・複合モジュール創製研究助成」

先端エネルギー材料理工共創研究センターでは，「令和8（2026)年度若手研究者のための革新的エネルギー材料・複合モジュール創製研究助成」の実施を予定しています．

近日中に募集要項を先端エネルギー材料理工共 創研究センターのホームページ（http://www.e-imr.imr.tohoku.ac.jp/）にて，ご案内する予定です．応募への検討をお願いいたします．